

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Bela Družinec

Zagreb, 2010.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Aleksandar Sušić, docent

Bela Družinec

Zagreb, 2010.

Sažetak

Ovaj rad bavi se problematikom utvrđivanja konstrukcijskih značajki vratne ortoze. Prvi dio rada bavi se razjašnjenjem mehanizma kojim dolazi do trzajne ozljede vratne kralježnice, odnosno objašnjava se biomehanika trzajne ozljede.

Zatim se definira vratna ortoza kao ortopedsko pomagalo čija je primarna funkcija fiksacija vratne kralježnice i podupiranje glave, navode se tipovi vratnih ortoza i analizom se izlučuju zahtjevi koje ortoza mora ispuniti. Na temelju tih zahtjeva, utvrđuju se konstrukcijske smjernice koje je potrebno slijediti prilikom konstrukcije ortoze. Neke od tih smjernica jesu: utvrđivanje geometrije (oblik i dimenzije), odabir materijala, problemi postavljanja i prilagođavanja, te složenost uporabe i higijena.

Sadržaj

Sažetak	3
Sadržaj.....	4
Popis slika.....	6
Popis tablica	6
Izjava.....	7
1. Uvod	8
2. Trzajna ozljeda (whiplash injury)	9
3. Normalna biomehanika vratne kralježnice	10
3.1. Definicije.....	10
3.2. Gibanje gornje vratne kralježnice (C0-C2).....	14
3.3. Gibanje srednje i donje vratne kralježnice (C3-C7)	15
4. Biomehanika trzajne ozljede vrata	17
4.1. Definicija trzajne ozljede vrata	17
4.2. Biomehanika sudara u stražnji kraj vozila pri niskoj brzini	17
4.2.1. Udar vozila iza (vozilo metak) u stražnji kraj vozila isprije (vozilo meta)	19
4.2.2. Akceleracija trupa prema naprijed i prema gore.....	19
4.2.3. Istezanje/sabijanje (vlačno/tlačno opterećenje) donje vratne kralježnice i savijanje/sabijanje (savojno/tlačno opterećenje) gornje vratne kralježnice	20
4.2.4. Kontakt glave i naslona za glavu.....	21
4.2.5. Rotacija glave unatrag i istezanje vrata	21
4.2.6. Ubrzanje glave prema naprijed i savijanje vratne kralježnice.....	22
4.2.7. Ljudski čimbenici	22
4.2.8. Čimbenici vozila	23
4.3. Promjene koštano-mišićno-ligamentarnih međuodnosa	23
5. Vratna ortoza (ovratnik)	25
5.1. Tipovi vratne ortoze	25
5.1.1. Gelom ispunjeni toplo-hladni ovratnici.....	26
5.1.2. Ovratnici za imobilizaciju od pjene	26
5.1.3. Metalni i plastični potporni ovratnici.....	27
5.1.4. Ovratnici za imobilizaciju od tvrde plastike	28
5.2. Zahtjevi koje ovratnik treba ispuniti.....	29

5.2.1. Imobilizacija vratne kralježnice	29
5.2.2. Prilagodljivost ovratnika pacijentu	29
5.2.3. Ergonomski zahtjevi	30
5.2.4. Dodatni zahtjevi.....	31
6. Utvrđivanje konstrukcijskih značajki vratne ortoze	32
6.1. Geometrija – oblik, dimenzije	32
6.2. Izbor materijala	32
6.3. Prilagodljivost	34
6.4. Postavljanje vratne ortoze	35
6.5. Higijena	36
6.6. Složenost upotrebe.....	37
6.7. Grafički prikaz konstrukcijskih značajki.....	38
7. Zaključak	39
8. Literatura.....	40

Popis slika

Slika 2.1. Trzajna ozljeda vrata kod sudara straga.

Slika 3.1. Ovaj koordinatni sustav najčešće koriste istraživači na području mehanike sudara koji istražuju pojavu trzajne ozljede.

Slika 3.2. Ravnine koje dijele ljudsko tijelo.

Slika 3.3. Vratni kralješci.

Slika 3.4. Gornji vratni kralješci - atlas (C1) i axis (C2).

Slika 3.5. Smještaj centara rotacije za svaki segment gibanja.

Slika 4.1. Iskrivljenje vratne kralježnice prilikom simulacije trzajne ozljede.

Slika 4.2. Promjena koštano-mišićno-ligamentarnih odnosa.

Slika 5.1. Gelom ispunjeni ovratnik.

Slika 5.2. Ovratnik za imobilizaciju od meke pjene.

Slika 5.3. Headmaster ovratnik.

Slika 5.4. Miami J ovratnik.

Slika 5.5. Ovratnik Philadelphia (lijevo) i ovratnik Aspen (desno).

Slika 6.4. Pravilan položaj tijela kod postavljanja ortoze.

Slika 6.1. Usporedba svojstava Sorbatexa i klasičnih materijala - brzina upijanja tekućine, brzina rasta bakterija, termička svojstva (izmjena topline), propuštanje zraka.

Slika 6.2. Prilagodljivost vratne ortoze.

Slika 6.3. Stifneck ovratnik ima mehanizam za prilagođavanje prema visini vrata.

Slika 5.6. Različiti oblici vrata.

Popis tablica

Tablica 4.2. Tipičan slijed događaja kod sudara u stražnji kraj vozila

Izjava

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno, služeći se stečenim znanjem i navedenom literaturom.

Zahvala:

Zahvaljujem mentoru, docentu dr. sc. Aleksandru Sušiću na stručnoj pomoći i podršci.

1. Uvod

U današnje vrijeme čovjek ima sve veću potrebu za pokretljivošću. Primjerice, ako radi izvan mjesta prebivališta, ako želi otići na neku udaljeniju destinaciju, bilo poslovno ili privatno, najjedostavnije je učiniti to osobnim vozilom. Automobilska industrija jedna je od najrazvijenijih i najraširenijih u svijetu i broj motornih vozila na cestama stalno raste.

Međutim, porastom broja motornih vozila, povećava se i broj prometnih nesreća. Jedna od učestalijih ozljeda u prometnim nesrećama jest trzajna ozljeda vrata, takozvana whiplash injury, čije tretiranje podrazumijeva primjenu vratne ortoze ili ovratnika. Kada dođe do ovakvog tipa ozljede, od iznimne je važnosti imobilizacija vratne kralježnice kako ne bi došlo do nekontroliranih kretnji i težih oštećenja, a to je osnovna funkcija vratne ortoze. Vratna ortoza, kako bi ispunila tu funkciju, treba biti prilagođena korisniku.

U ovom radu bit će opisana pojava trzajne ozljede, odnosno mehanizam kojim do nje dolazi, s osvrtom na biomehaniku vratne kralježnice. Bit će prikazane vrste ovratnika, na temelju analize utvrdit će se zahtjevi koje ovratnik treba zadovoljiti, a sve u cilju utvrđivanja konstrukcijskih značajki o kojima treba voditi računa pri konstruiranju vratne ortoze.

2. Trzajna ozljeda (whiplash injury)

Trzajna ozljeda vratne kralježnice, tzv. whiplash, danas je vrlo česta, najčešća u prometnim nezgodama (sudar automobila, pad motorista, biciklista i pješaka). Naziv whiplash ozljeda (engl. whiplash injury) složenica je engleskih riječi - whip (što znači ošinuti bičem, naglo udariti), lash (bič) i injury (ozljeda, nezgoda), a u slobodnom prijevodu znači "kao bičem ošinuto", "nagli trzaj glave poput trzaja biča". [1]

Trzajna ozljeda ili whiplash najčešće se definira kao niz složenih i promjenjivih okolnosti koje nastupaju pri sudaru motornih vozila, najčešće kad je vozilo udareno straga. Dugo je bilo prihvaćeno da, zbog koncentracije velikih sila, ozljede kralježnice mogu nastupiti kod ovakvog tipa sudara pri velikim brzinama. Mogućnost da sudar pri malim brzinama uzrokuje ozljedu ostaje sporna. Simptomi vezani uz whiplash povezuju se uz različite mehanizme udara, no pojavljuju se najčešće nakon udara u stražnji kraj vozila. Iz tog razloga, većina istraživanja koncentrira se na sudare kad vozilo koje miruje (ciljano vozilo) straga udari vozilo koje se giba malom brzinom (8-12 km/h). Najprije će biti opisana normalna biomehanika vratne kralježnice, a zatim biomehanika sudara automobila straga pri niskim brzinama. [2]



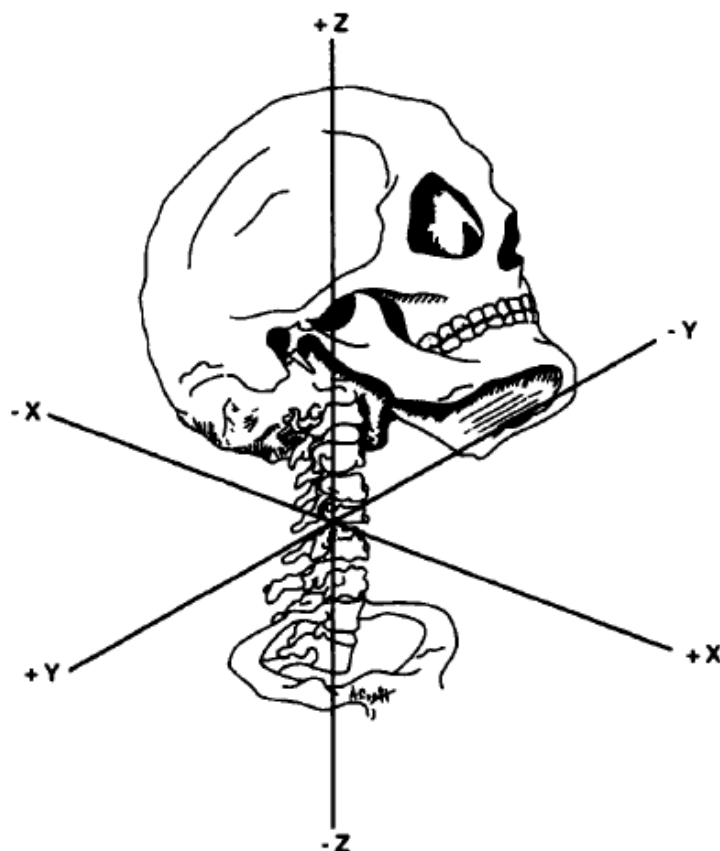
Slika 2.2. Trzajna ozljeda vrata kod sudara straga. [3]

3. Normalna biomehanika vratne kralježnice

Za razumijevanje mehanizma trzajne ozljede, potrebno je poznavati normalno funkcioniranje vratne kralježnice. Sljedeće definicije pomoći će pri tom shvaćanju.

3.1. Definicije

Kinematika je grana mehanike koja se bavi proučavanjem gibanja krutih tijela ne uzimajući u obzir sile pod čijim se djelovanjem to gibanje zbiva. U kralježnici, kruta tijela su kralješci. Pri objašnjavanju gibanja kralježaka koristi se koordinatni sustav osi i ravnina kao na slici 2.



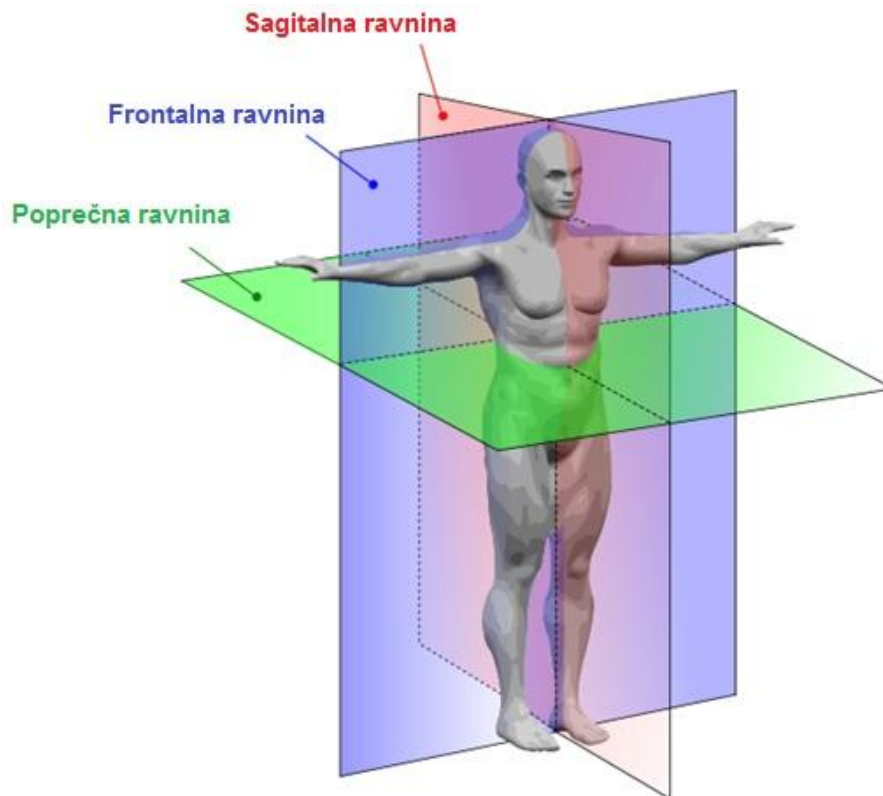
Slika 3.1. Ovaj koordinatni sustav najčešće koriste istraživači na području mehanike sudara koji istražuju pojavu trzajne ozljede. [2]

Kinetika je grana mehanike koja se bavi proučavanjem gibanja krutih tijela uzimajući u obzir sile pod čijim se djelovanjem to gibanje zbiva. Sile koje djeluju na vratnu kralježnicu mogu biti unutarnje (npr. mišići, ligamenti) ili vanjske (npr. gravitacija, ubrzanje). Vrat je izložen raznim silama koje utječu na njegovo gibanje, uključujući i glavu koju podupire.

Translacija nastupa kad se svi dijelovi tijela gibaju po krivolinijskom putu bez rotacije. Primjer bi mogao biti klizanje čaše po stolu bez prevrtanja ili vrtnje. Dogovorno, translacija kralježaka može biti u pozitivnom smjeru (prema naprijed) ili u negativnom smjeru (unatrag). Stoga, translacija kralježaka prema naprijed je gibanje u pozitivnom smjeru x osi.

Rotacija nastupa kad se svi dijelovi tijela gibaju oko trenutačno nepomične osi. Rotacija kralježaka može biti oko osi y kada dolazi do saginjanja glave ili oko osi z tijekom okretanja glave ulijevo ili udesno. Rotacija se označava simbolom theta θ , i u smjeru kazaljke na satu je pozitivna $+\theta$, a u smjeru suprotnom kazaljki na satu je negativna $-\theta$. Rotacija udesno se stoga označava kao $+\theta_z$, a jednostavno saginjanje (fleksija) glave prema naprijed kao $+\theta_y$.

Dakle, vratna kralježnica ima 6 stupnjeva slobode: rotacija oko triju osi (x, y, z) i translacija u 3 ravnine (sagitalna koja dijeli tijelo na lijevu i desnu stranu, frontalna koja ga dijeli na prednji i stražnji dio i poprečna koja ga dijeli na gornji i donji dio).

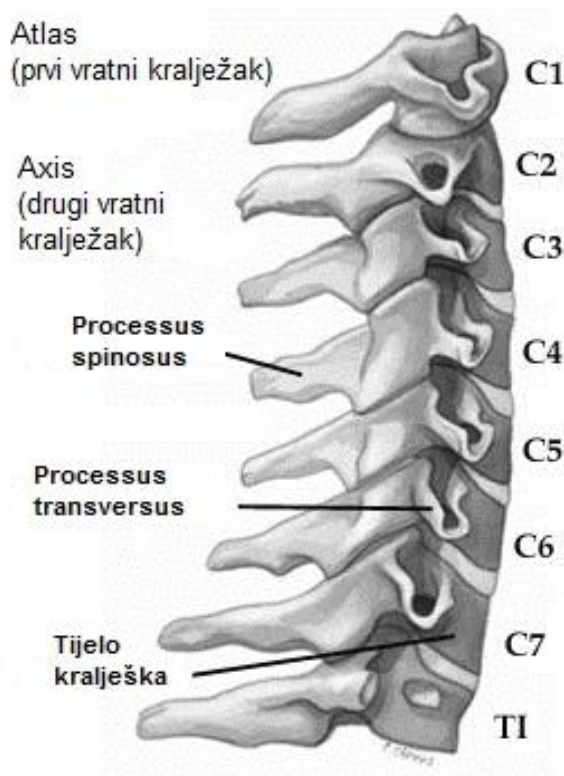


Slika 3.2. Ravnine koje dijele ljudsko tijelo. [4]

Funkcionalni kralježnički element (koji se također naziva i *segment gibanja*) sastoji se od dva susjedna kralješka i nekoštanog tkiva koje ih povezuje. Gibanje bilo kojeg kralješka opisuje se u zavisnosti, tj. u odnosu na kralježak iznad ili ispod njega (susjedni kralježak). Model gibanja koje nastupa između vratnih kralježaka posljedica je oblika kralježaka, orijentacije sinovijalnih zglobova, položaja (stanja) međukralježničkih (intervertebralnih) diskova, te utjecaja mekog tkiva koje djeluje na segment gibanja (npr. mišići i ligamenti). [2]

Trenutna os rotacije (TOR) je os koja prolazi kroz centar (središte) gibanja kralješka u svakom dijeliću vremena tijekom gibanja. U tom jednom trenutku, TOR se ne miče (to je točka oko koje se kralježak giba), ali ako se TOR izračunava u više točaka u luku gibanja kralješka, njezin položaj se mijenja.

Sprega nastupa kad je gibanje oko jedne osi konzistentno popraćeno simultanim gibanjem oko druge osi. Primjerice, ako je vratni kralježak savinut u jednu stranu (lateralna fleksija), uvijek postoji simultana rotacija istog kralješka tako da se processus spinosus giba prema izbočini krivulje koja nastaje.



Slika 3.3. Vratni kralješci. [5]

Neutralno područje je onaj stupanj gibanja do kojeg može doći između 2 kralješka u bilo kojoj ravnini (samo u jednoj ravnini) tijekom translacije ili rotacije bez fiziološkog otpora gibanju.

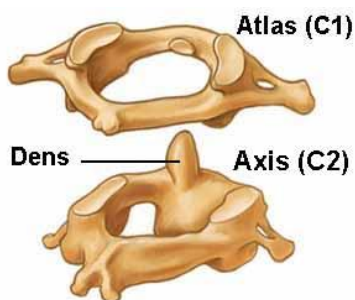
Elastično područje je onaj stupanj gibanja koji nastupa između kraja neutralnog područja (npr. kad se pojavi otpor) i kraja raspona fiziološkog gibanja.

Paradoksalno gibanje nastupa kada je model gibanja kralješka suprotan onome susjednog kralješka. Primjerice, vratni kralježak može se gibati u cilju ispruživanja kada susjedni kralježak teži savijanju. Iako se to najčešće događa u sagitalnoj ravnini, teoretski se može dogoditi i u drugim ravninama.

Stabilnost kralježnice definira se na različite načine. Definicija koja uključuje pojam kliničke stabilnosti kralježnice jest stanje u kojem kralježnica može funkcionirati pod fiziološkim opterećenjem zadržavajući strukturu (obrazac) pomicanja tako da nema neuroloških problema, većih deformacija i boli koja onesposobljava. [2]

3.2. Gibanje gornje vratne kralježnice (C0-C2)

Većina autora dijeli vratnu kralježnicu na dva funkcionalna dijela: gornji (C0-C2) i donji (C3-C7). Kao posljedica jedinstvenih i kompliciranih anatomskih karakteristika gornje vratne kralježnice, normalna biomehanika veoma se razlikuje od one donje vratne kralježnice. Zglob C0-C1 osigurava približno 25 stupnjeva kombinacijom savijanja i istežanja (ispruživanja) i 5 stupnjeva lateralnog (bočnog) savijanja na svaku stranu. Izgleda da dopušta mali stupanj rotacije (3-8 stupnjeva).



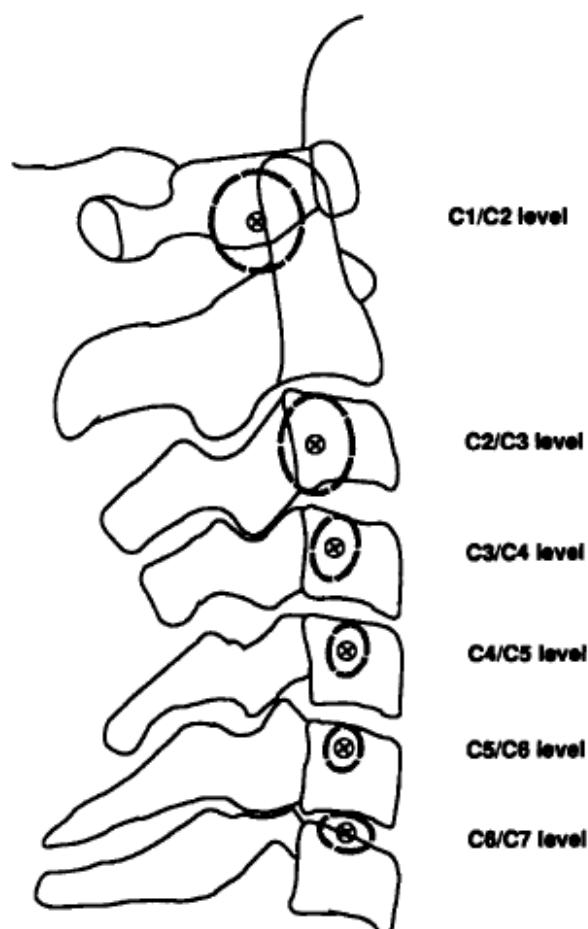
Slika 3.4. Gornji vratni kralješci - atlas (C1) i axis (C2). [6]

Paradoksalno gibanje u gornjoj vratnoj kralježnici najprije je opisao Gutmann koji je primijetio istežanje zgloba C0-C1 tijekom krajnje faze savijanja vrata. Ovaj model gibanja promatran je tijekom savijanja vratne kralježnice kod većine mladih, normalnih ljudi, prema čemu je zaključeno da se radi o uobičajenoj pojavi.

Zglob C1-C2 osigurava oko 20 stupnjeva kombinacijom savijanja i istežanja i 5 stupnjeva lateralne fleksije. Također dopušta 40 stupnjeva rotacije na svaku stranu, što je oko polovice aksijalne rotacije vratne kralježnice. Iako je općenito prihvaćeno da postoji sprega između rotacije C1-C2 i vertikalne translacije C1, točni mehanizam nije poznat. [2]

3.3. Gibanje srednje i donje vratne kralježnice (C3-C7)

Lysell je objavio najiscrpniju studiju o kinematici donje vratne kralježnice. Po njemu, gibanje u sagitalnoj ravnini (npr. savijanje/istezanje) kombinacija je translacije i rotacije sa sličnim obrascem gibanja kao kod funkcionalnih kralježničkih elemenata. Računalna procjena rendgenskih snimaka savijanja/istezanja vrata korištena je za računanje centara rotacije za svaki segment gibanja vratne kralježnice.



Slika 3.5. Smještaj centara rotacije za svaki segment gibanja.[2]

Kod donje vratne kralježnice postoji jaka sprega između bočnog savijanja (savijanje u stranu, lateralna fleksija) i rotacije. Kad sa vrat savija u stranu, dolazi do rotacije kralježaka i to na način da se processus spinosus gibaju prema izbočini krivulje (što se vidi u frontalnoj ravnini). Omjer rotacije i lateralne fleksije (u stupnjevima) varira ovisno o nivou kralježnice koji se promatra, s postupnim

smanjenjem vrijednosti rotacije oko osi vezano uz svaki stupanj lateralnog savijanja od C2 do C7. Ti omjeri su u rasponu od 0,67 kod C2 (2 stupnja rotacije za svaka 3 stupanj lateralnog savijanja) do 0,13 kod C7 (1 stupanj rotacije za svakih 7,5 stupnjeva lateralne fleksije). Slično, postoji sprega lateralne fleksije kad dolazi do rotacije vratne kralježnice. [2]

4. Biomehanika trzajne ozljede vrata

4.1. Definicija trzajne ozljede vrata

Quebec Task Force definira whiplash kao mehanizam prijenosa energije vratu ubrzavanjem/usporavanjem. Iako oni tvrde da se to događa kao posljedica udara u zadnji kraj vozila ili bočnog sudara, kao i kod ronilačkih i sličnih nezgoda, malo je vjerojatno da je kinematika svih tih mehanizama jednaka. Kod sudara u stražnji kraj vozila, postoji nagla akceleracija (ubrzanje) trupa prema naprijed u odnosu na glavu s početnom reakcijom na savijanje, dok kod ronilačkih nezgoda (i sličnih ozljeda) sila najprije djeluje na glavu, a zatim se prenosi na vrat i trup. U ovom radu ograničit ćemo pojam whiplash na slijed događaja do kojeg dolazi kad jedno vozilo udari drugo vozilo straga. Barnsley i ostali saželi su slijed tih događaja nakon takvog sudara ovako:

Glava, na koju ne djeluje nikakva sila, ostaje nepomična u prostoru, što ima za posljedicu naglo istezanje vrata budući da se ramena pod utjecajem akceleracije gibaju prema naprijed prije glave. Nakon istezanja, inercija glave je prevladana i ona se također ubrzano giba prema naprijed. Vrat tada djeluje kao poluga koja povećava akceleraciju glave prema naprijed i vrat se tada prisilno savija. [2]

U stvarnosti, ovi događaji su složeniji nego što to opisuje ova definicija.

4.2. Biomehanika sudara u stražnji kraj vozila pri niskoj brzini

Kod istraživanja kinematike trzajne ozljede korišteni su brojni modeli. Severy i ostali izveli su kontrolirane sudare automobila u stražnji kraj s čovjekom dobrovoljcem 50ih godina prošlog stoljeća. Macnab je kasnije vezao majmune pod anestezijom za željeznu platformu i spuštao ih s različitih visina (uzrokujući naglo istezanje vrata). Od tih ranih istraživanja postoji veliki napredak u metodologiji i tehnologiji. Sad se koriste razni eksperimentalni modeli, uključujući model saonica (s životinjama, živim ljudima ili truplima), model sudara vozila (živi ljudi, antropomorfne lutke, ili trupla) i matematičke modele. Iako se ovim ispitivanjima mogu dobiti korisne

informacije, koncentriramo se na ona u kojima se koriste živi ili mrtvi ljudski subjekti u stvarnim ili simuliranim sudarima pri niskim brzinama jer oni pružaju najtočnije razumijevanje mehanizma trzajne ozljede vrata.

Čimbenici u sudaru mogu se podijeliti na ljudske čimbenike i čimbenike vozila. Ljudski čimbenici uključuju varijable kao što su veličina tijela i držanje tijela. Čimbenici vozila uključuju varijable kao što su masa, veličina i brzina svakog vozila; karakteristike sustava sjedala i pojasa za vezanje; sposobnost vozila da upije i prenese energiju udarca. [2]

Za logično ispitivanje mehanizma trzajne ozljede vrata, najprije treba razmotriti slijed biomehaničkih događaja za koje je poznato da nastupaju u tipičnom sudaru u stražnji kraj vozila. Ovi događaji navedeni su u tablici koja slijedi. Zatim će biti ispitane varijable koje mogu promijeniti te događaje.

Tablica 4.2. Tipičan slijed događaja kod sudara u stražnji kraj vozila [2]

1.	Udar vozila iza u stražnji kraj vozila isprijed (metak – meta)
2.	Iznenadno ubrzanje udarenog vozila
3.	Kontakt naslona sjedala i trupa subjekta
4.	Simultana akceleracija trupa prema naprijed i prema gore
5.	Istezanje/sabijanje donje vratne kralježnice i savijanje/sabijanje gornje vratne kralježnice zbog čega ona poprima oblik slova S
6.	Kontakt glave i naslona za glavu
7.	Istezanje vratne kralježnice i rotacija glave unatrag
8.	Ubrzanje glave prema naprijed nakon ubrzanja ramena
9.	Savijanje (fleksija) cijele vratne kralježnice

4.2.1. Udar vozila iza (vozilo metak) u stražnji kraj vozila isprijed (vozilo meta)

Kod simulacija se obično pretpostavlja da se vozilo meta, tj. vozilo udareno u stražnji kraj, ne giba. Ako se vozilo meta giba u istom smjeru kao i vozilo metak prije nego dođe do sudara, razlika u njihovim brzinama odredit će efektivnu udarnu brzinu. Udar straga uzrokuje naglo ubrzanje vozila mete (udarenog vozila). Stupanj ubrzanja funkcija je mase i brzine udarenog vozila i svojstava upijanja energije na mjestu kontakta vozila. Promjena brzine udarenog vozila označava se sa ΔV . Sile koje djeluju na ispitanika (čovjeka) više su funkcija ΔV nego jednostavno brzine ili mase vozila. Ispitivanja sudara pri niskim brzinama obično se izvode pri brzinama 8-15 km/h, pri čemu je ΔV između 8 i 10 km/h.

Rizik od ozljede ispitanika u udarenom vozilu kod kojeg je ΔV manje od 8 km/h je malen. Na ΔV može utjecati sustav odbojnika koji upijaju energiju, a koji ima većina modernih vozila. Ovi sustavi su osmišljeni tako da apsorbiraju sile kod brzina od 8 km/h tako da šteta na vozilu bude što manja. Nisu dizajnirani tako da smanjuju ΔV koja nastaje kao posljedica udarca. Teoretski, ako dođe do odbijanja zbog neispravnog sustava za apsorpciju energije, udareno vozilo moglo bi imati veće ubrzanje nego kad takav sustav nije prisutan. [2]

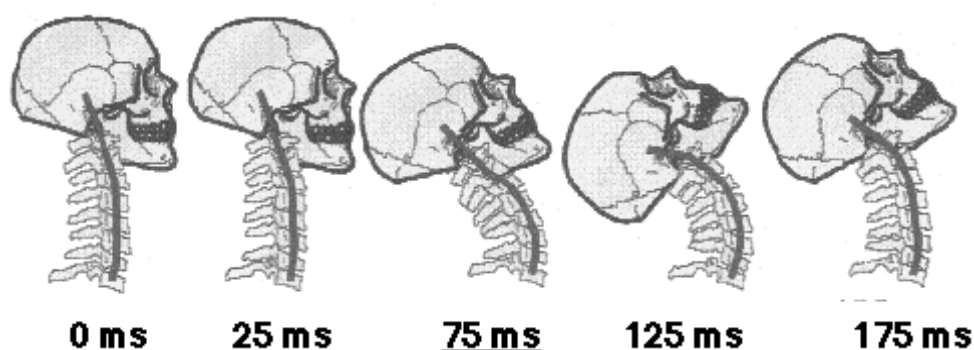
4.2.2. Akceleracija trupa prema naprijed i prema gore

Kako dolazi do ubrzanja udarenog vozila prema naprijed, tako naslon sjedala prvo dolazi u kontakt s područjem križa i zdjelice, zbog čega se sjedalo savija unatrag, dalje od gornjeg trupa. To vodi do toga da naslon sjedala i naslon za glavu budu niži u odnosu na nepomični trup ispitanika. Nagib naslona sjedala unatrag uzrokuje efekt kosine (rampe), što rezultira vertikalnim pomicanjem trupa gotovo odmah nakon udara. Budući da glava ostaje nepomična, dolazi do sabijanja (kompresije) vratne kralježnice. To sabijanje nastupa prije značajnije akceleracije trupa unaprijed.

Spljoštenje prsnog zavoja (kifoza) zbog kontakta naslona sjedala s torakalnom kralježnicom je dano u prijedlog kao dodatni mehanizam koji može uzrokovati vratno sabijanje (kompresiju). [2]

4.2.3. Istezanje/sabijanje (vlačno/tlačno opterećenje) donje vratne kralježnice i savijanje/sabijanje (savojno/tlačno opterećenje) gornje vratne kralježnice

Vratna kralježnica je u početku u savijenom položaju zbog kretanja trupa prema naprijed. Ubrzanje prema naprijed i sile sabijanja (tlaka) djeluju najprije na donji dio vrata, a zatim brzo prelaze na gornji dio. Ispitivanja rendgenskim snimanjem ljudskih volontera na modelu saonica pokazuju da istezanje i gibanje kralježaka C5 i C6 prema naprijed nastupa dok još uvijek postoji fleksija (savijanje) srednje i gornje vratne kralježnice. Slično dokazuju i studije u kojima su korištena trupla. Ova pojava uzrokuje da vratna kralježnica poprimi oblik krivulje poput slova S. Kaneoka je primijetio da je trenutna os rotacije (TOR) kralješka C6 pomaknuta u donje tijelo kralješka C5 (u usporedbi s normalnom TOR), što uzrokuje pomicanje donje strane kralješka C5 prema gornjoj strani kralješka C6. Ovo sabijanje je hipotetski mogući mehanizam ozljede zgloba.



Slika 4.1. Iskrivljenje vratne kralježnice prilikom simulacije trzajne ozljede. [7]

Grauer i ostali primijetili su prisutnost S konfiguracije tijekom ispitivanja na kralježnicama trupala. Uočili su maksimalnu rotaciju između kralježaka C6 i C7 te C7 i T1 koja premašuje maksimalno fiziološko istezanje. Ove rotacije su nastupile u isto

vrijeme kad i zakrivljenost u obliku slova S. Deng i ostali i Ono i ostali zabilježili su relativnu rotaciju svakog vratnog kralješka i uočili da se glava savija u zavisnosti s vratom; C2-C3 je u relativnom savijanju, a C3-C4, C4-C5 i C5-C6 preuzimaju na sebe relativno istezanje. Dostupni podaci pokazuju da do pokretanja mišića ne dolazi dok otprilike nije formirana krivulja u obliku slova S. Potpuno stezanje mišića ne nastupa 60 do 70 ms nakon početka stezanja. [2]

4.2.4. Kontakt glave i naslona za glavu

U studijama sudara Siegmunda i ostalih, do kontakta naslona za glavu i glave dolazi dok je glava još uvijek zabačena u početnom savijenom položaju (u odnosu na C7). Rotacija/ekstenzija glave unatrag počinje tek nakon što dođe do kontakta glave i naslona za glavu. Horizontalna akceleracija glave (u odnosu na tlo) postiže svoj maksimum za vrijeme kontakta glave s naslonom i u prosjeku ima vrijednost $1,9 \text{ } \Delta V$ udarenog vozila. Najveći relativni pomaci između kralježaka najvjerojatnije nastaju prije nego dođe do kontakta glave i naslona. Ova opažanja pokazuju da se sile koje će najvjerojatnije uzrokovati ozljedu (sabijanje i istezanje donjeg dijela vrata) pojavljuju rano, prije vidljivog istezanja vrata.

Hoće li doći do kontakta glave i naslona za glavu vjerojatno je funkcija udaljenosti između baze lubanje i naslona za glavu (sjedala) te akceleracije (ubrzanja) kojoj je glava izložena. McConnell i ostali primijetili su da se, kad ΔV prekorači vrijednost 8 km/h, naslon za glavu spusti po sustavu za podešavanje. Također su primijetili da kontakt glave i naslona ovisi i o visini ispitanika dok sjedi. Kod viših ljudi glava će doći u kontakt s gornjom površinom naslona, a kod nižih ljudi s prednjom površinom. [2]

4.2.5. Rotacija glave unatrag i istezanje vrata

Brzina kretanja (ili inercija?) trupa uzrokuje ubrzanje vratne kralježnice prema naprijed, no zbog mase glava zaostaje. Ovo rezultira istezanjem vrata i rotacijom glave unatrag. Maksimalno ukupno istezanje vrata (45-50 stupnjeva) manje je nego maksimalno hotimično istezanje mjereno prije ispitivanja sudara. Slične vrijednosti

ukupnog istezanja vrata dobivene su i ispitivanjima na truplima na kliznim modelima. Ovo dovodi u pitanje teoriju da su ozljede vrata povezane s maksimalnim istezanjem vrata. [2]

4.2.6. Ubrzanje glave prema naprijed i savijanje vratne kralježnice

Nakon ubrzanja trupa i baze (temelja) vrata prema naprijed i maksimalnog istezanja vratne kralježnice, glava počinje ubrzano gibanje prema naprijed. Prema studiji McConnella i ostalih, rotacija glave unatrag nastavlja se 60 do 90 ms prije usporavanja dok cijela glava nije „izbačena“ prema naprijed. Glava se tada približava prekograničnom položaju i postiže ubrzanje veće od onog donjeg dijela vratne kralježnice, što uzrokuje savijanje vrata. Ubrzanje glave prema naprijed aktivno usporavaju vratni mišići (izmjereno je usporavanje 1,5-2,5 g). Usporkos tome, glava se giba prema naprijed brže nego ramena. [2]

4.2.7. Ljudski čimbenici

Razlike u položaju tijela pri sjedenju i konfiguracija glava – vrat mogu utjecati na sile u vratu. Ono i ostali namjestili su vrat ispitanika u savijeni položaj, neutralni položaj ili istegnuti položaj prije udara koristeći saonice bez naslona za glavu. Proračunali su savojno, smično i normalno naprezanje i zaključili da kifozna konfiguracija vratne kralježnice (koju uzrokuje savijanje, tj. fleksija prije sudara) može rezultirati ozbiljnijom ozljedom. Deng i ostali otkrili su da nagib naslona sjedala od 20 stupnjeva rezultira manjom početnom vratnom lordozom i jačim izbijanjem uvis prsnog dijela kralježnice. To uzrokuje jače sabijanje vrata i povećava relativnu rotaciju svakog vratnog funkcionalnog elementa (segmenta gibanja) u usporedbi s ispitivanjima kod kojih je nagib sjedala 0 stupnjeva (vertikalan položaj).

Viši ljudi vjerojatnije će ostvariti kontakt glavom s vrhom (gornjom površinom) naslona za glavu i zbog toga će im vrat biti izložen većem istezanju, ali nije razjašnjeno postoji li veća opasnost od ozljede kao posljedica toga. Croft je pretpostavio da rotacija vrata smanjuje doseg istezanja vratne kralježnice za 50% i povećava vjerojatnost od istezne ozljede.

Epidemiološke studije pokazuju da su žene podložnije simptomatskim trzajnim ozljedama nego muškarci. Uzrok tomu nije poznat. [2]

4.2.8. Čimbenici vozila

Masa i brzina vozila koja sudjeluju u sudaru glavne su odrednice koje određuju iznos ΔV . Cjelokupna opasnost od ozljede kod sudara u stražnji kraj vozila povećava se s porastom ΔV .

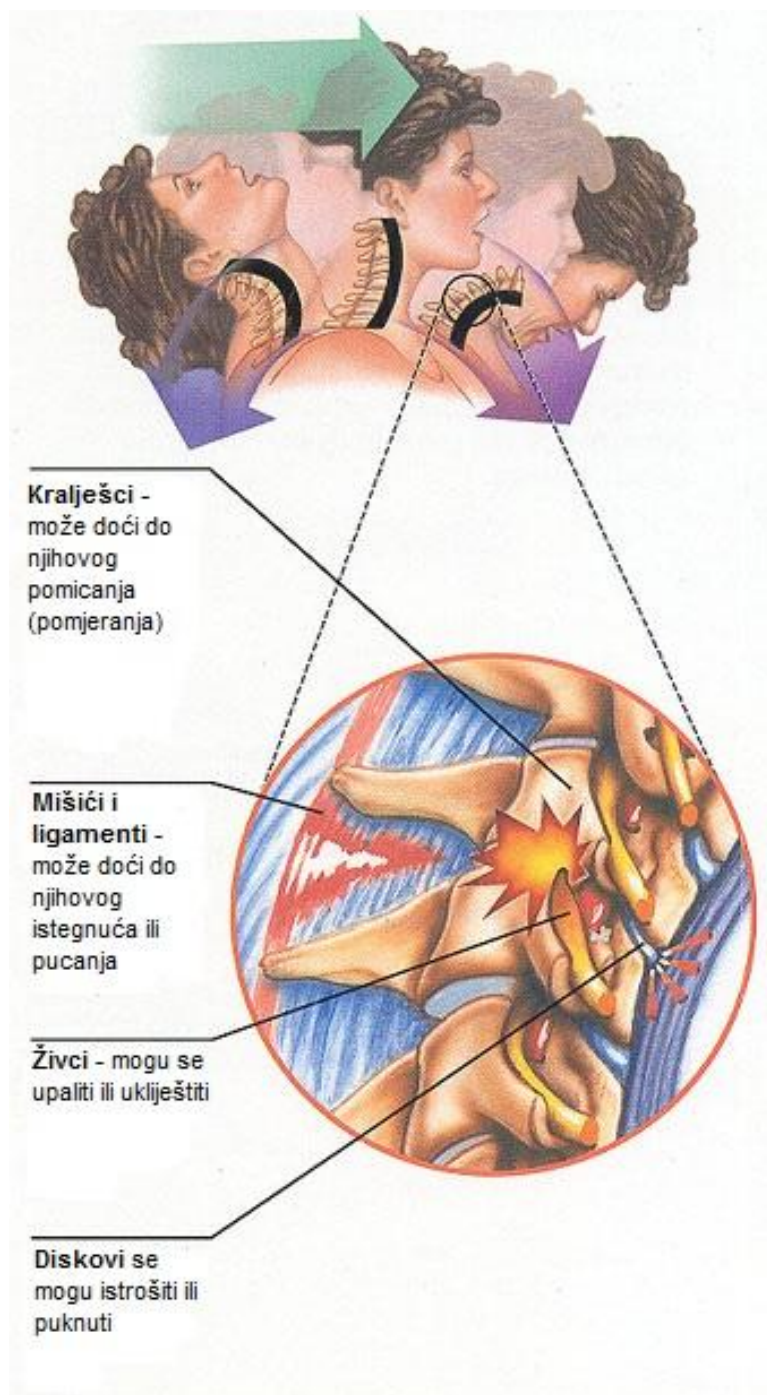
Razlike u nagibu naslona sjedala i krutosti sjedala utječu na sile koje se prenose na vratnu kralježnicu. Kruto sjedalo i veći nagib naslona sjedala unatrag povećat će tlačno opterećenje odozdo (sabijanje) na vratnu kralježnicu. Suprotno, mekše sjedalo, iako smanjuje sabijanje (kompresiju), uzrokovat će jače odbijanje trupa i povećati poprečnu silu u donjem dijelu vratne kralježnice.

Smatralo se da je položaj naslona za glavu također jedan od faktora koji utječu na težinu ozljede. Naime, smatra se da je naslon za glavu u pravilnom položaju ako su vrh naslona i vrh glave na istoj visini. Također, udaljenost između zatiljka i prednje površine sjedala povezuje se s jačim ozljedama vrata. Unatoč tome, uloga naslona za glavu je sporna. Budući da većina sila za koje se smatra da uzrokuju ozljede vrata rano postižu svoj maksimum, McConnell i ostali smatraju da, bez obzira na pozicioniranje, naslon za glavu nema značajan utjecaj na težinu ozljede. Eventualno bi novi oblik naslona koji ubrzava glavu prema naprijed istovremeno kad i trup mogao smanjiti ozljede vrata. [2]

4.3. Promjene koštano-mišićno-ligamentarnih međudnosa

Zbog jačine udara prilikom sudara dolazi do snažne kontrakcije mišića vrata, uganuća vratne kralježnice i oštećenja mekih tkiva (puknuća ligamenata, tetiva, mišića i njihovih ovojnica), ali i do pucanja diskova među kralješcima i oštećenja malih zglobova kralježnice. Popuštanje sveza među kralješcima uzrokuje i veću međusobnu gibljivost, pa se može oštetiti i kralježnična moždina te korijen živaca.

Zbog ozljede mišića, javljaju se bol i napetost, što traje i nekoliko tjedana. I vratni ligamenti mogu biti istegnuti i ozlijeđeni, što umanjuje njihovu ulogu stabilizacije i zaštite zglobova i živaca. Može doći do sporijeg zacjeljivanja i nestabilnosti, pri čemu mišići postaju slabiji, živci iritirani, a zglobovi upaljeni i bolni. [1]



Slika 4.2. Promjena koštano-mišićno-ligamentarnih odnosa. [8]

5. Vratna ortoza (ovratnik)

Vratna ortoza ili ovratnik je ortopedsko pomagalo, odnosno dio medicinske opreme čija je funkcija fiksacija vratne kralježnice, a uz to služi i kao oslonac za glavu. Ovratnik se koristi kod hitne pomoći žrtvama koje su pretrpjele traumatske ozljede vrata ili glave, ali i kod liječenja kroničnih problema. [9]

Kad dođe do traumatske ozljede vrata ili glave, postoji opasnost od ozljede leđne moždine, što može dovesti do paralize ili čak smrti. Kako bi se to spriječilo, pacijentima medicinsko osoblje stavlja vratnu ortozu koja stabilizira sedam gornjih kralježaka (C1 – C7).

5.1. Tipovi vratne ortoze

Ovratnici se mogu podijeliti u 4 osnovne skupine [10]:

1. Gelom ispunjeni toplo-hladni ovratnici
2. Ovratnici za imobilizaciju od pjene
3. Metalni i plastični potporni ovratnici
4. Ovratnici za imobilizaciju od tvrde plastike

Valja naglasiti da će biti objašnjene sve skupine ovratnika, ali posebnu pažnju treba posvetiti ovratnicima za imobilizaciju od pjene i ovratnicima za imobilizaciju od tvrde plastike, budući da se oni najčešće koriste kod tretiranja trzajnih ozljeda.

5.1.1. Gelom ispunjeni toplo-hladni ovratnici



Slika 5.1. Gelom ispunjeni ovratnik. [11]

Koriste se za smanjenje boli, ukočenosti i upala. Mogu se zagrijati u mikrovalnoj pećnici ili smrznuti, zatim se stave na vrat i pričvrste. Njihova glavna prednost je mobilnost – jednostavno se pričvrste i pacijent ih može koristiti i kod kuće i na poslu. Zbog toga su puno praktičniji od hladnih obloga (nespretni su) ili grijača (moraju imati izvor energije). [10]

5.1.2. Ovratnici za imobilizaciju od pjene



Slika 5.2. Ovratnik za imobilizaciju od meke pjene. [12]

Ovakvi ovratnici preporučaju se pacijentima s ozljedama mekog tkiva, poput trzajne ozljede ili ostalih oblika istegnuća vrata, ili onima kojima je potrebna kratkotrajna potpora za glavu i vrat dok ne vrate snagu nakon dugotrajne bolesti. Napravljeni su od guste pjene i oblikovani tako da leže na ramenima i ključnoj kosti a gornji dio ovratnika podupire bazu lubanje. Imaju presvlaku od tkanine koja se može oprati i pričvršćuju se na čičak. [10]

5.1.3. Metalni i plastični potporni ovratnici

Koriste ih uglavnom pacijenti koji boluju od skleroze i drugih degenerativnih bolesti kod kojih su mišići preslabi da nose težinu lubanje. Napravljeni su od tvrde plastike ili metalnih cijevi, prekriveni tkaninom i pričvrste se pomoću čičak trake. Diskretni su i mogu se nositi ispod odjeće.[10]



Slika 5.3. Headmaster ovratnik. [13]

5.1.4. Ovratnici za imobilizaciju od tvrde plastike



Slika 5.4. Miami J ovratnik. [14]

Ovakve ortoze osiguravaju kralježnicu i lubanju kod pacijenata koji imaju slomljene kralješke, frakture lubanje ili ostale traumatske ozljede koje zahtijevaju potpunu imobilizaciju tijekom liječenja. Koriste se i tijekom hitne pomoći sudionicima prometnih nesreća kako bi se spriječile dodatne ozljede glave i vrata prilikom transporta. Kao i ovratnici od pjene uporište imaju na vrhovima ramena i ključne kosti, ali glava je poduprta uporištem za bradu u obliku školjke. Neki od njih imaju veliki otvor na prednjem dijelu kako bi bilo omogućeno praćenje pulsa ili izvođenje traheotomije. Izrađeni su od lijevane plastike i imaju unutarnji sloj od pjene. [10]



Slika 5.5. Ovratnik Philadelphia (lijevo) i ovratnik Aspen (desno). [15,16]

5.2. Zahtjevi koje ovratnik treba ispuniti

5.2.1. Imobilizacija vratne kralježnice

S obzirom na to da kod trzajnih ozljeda vrata dolazi do snažne kontrakcije mišića vrata, uganuća vratne kralježnice i oštećenja mekih tkiva (puknuća ligamenata, tetiva, mišića i njihovih ovojnica), ali i do pucanja diskova među kralješcima i oštećenja malih zglobova kralježnice, a to popuštanje sveza među kralješcima uzrokuje veću međusobnu gibljivost pa se može oštetiti leđna moždina ili korijen živaca, prvi i osnovni zahtjev koji ovratnik treba ispuniti jest da osigura stabilnost vrata. Potrebno je ograničiti gibanje koliko je to maksimalno moguće i pritom je najvažnije ograničiti:

- a) Aksijalnu rotaciju (rotacija oko osi z)
- b) Bočno saginjanje (lateralna fleksija, rotacija oko osi x)
- c) Saginjanje glave prema naprijed ili unazad (rotacija oko osi y)
- d) Translaciju u sagitalnoj, frontalnoj i aksijalnoj ravnini

Dakle, ovratnik treba do određene granice smanjiti stupnjeve slobode gibanja koje imaju vratna kralježnica i glava.

Također, ovratnik treba nositi težinu glave dok oštećena meka tkiva u vratu ne zacijele.

5.2.2. Prilagodljivost ovratnika pacijentu

Svi ljudi su različiti, pa tako nemamo svi isti oblik ni veličinu vrata. Neki imaju dugačak vrat, neki kratak (pritom se misli na vertikalnu udaljenost između brade i ramena), neki većeg opsega, neki manjeg. Razlikuju se oblici vrata kod muškaraca i žena, kod odraslih i djece. Stoga je veoma važno da postoje različite veličine i oblici ovratnika.



Slika 5.6. Različiti oblici vrata. [17]

Vratne ortoze mogu biti univerzalne, tj. mogu se podešavati tako da pristaju svakom pacijentu, ili mogu biti izrađene u više veličina pa tada pacijent izabire onu veličinu koja odgovara visini i opsegu njegova vrata.

5.2.3. Ergonomski zahtjevi

Uz adekvatnu imobilizaciju i prilagodljivost, maksimalna udobnost je treći veoma važan zahtjev za vratnu ortozu. Potrebno je obratiti pažnju na slijedeće:

a) Termička svojstva materijala iz kojeg je ovratnik napravljen

Veoma je važno omogućava li materijal koži da „diše“, tj. osigurava li izmjenu topline. Primjerice, bilo bi veoma neugodno za pacijenta da ljeti, pri visokim temperaturama, ima ovratnik koji ne propušta toplinu ili da zimi propušta previše topline.

b) Iritacija kože

Također treba paziti na zaštitu kože od iritacije tijekom dugog nošenja. Materijal ovratnika treba biti biokompatibilan i ne smije uzrokovati upalne reakcije i iritaciju kože s kojom je u dodiru.

c) Nesmetano obavljanje tjelesnih funkcija

Pritom se misli primjerice da ortoza ne smeta kod spavanja, kod žvakanja i gutanja hrane, govora. Naime, većina ortoza znatno ograničava pokretljivost vilice, odnosno donjeg dijela čeljusti, pa govor, žvakanje i gutanje mogu biti otežani.

5.2.4. Dodatni zahtjevi

Neki od dodatnih zahtjeva mogu biti:

- a) RTG propusnost – propusnost rendgenskih zraka. Naime, kad dođe do nesreće i sumnja se na ozljedu vrata potrebno je ustanoviti kolika je težina te ozljede, ima li oštećenja kralježaka i ako ima u kolikoj mjeri, a to se vidi na rendgenskim snimkama. A kako je zbog opasnosti da ne dođe do težih ozljeda najbolje ne skidati ovratnik dok se ne to provjeri, RTG propusnost je veoma korisna.
- b) Otvor na prednjoj strani ovratnika (slika 5.5.) za potrebe traheotomije, provjeravanje pulsa i slično.

6. Utvrđivanje konstrukcijskih značajki vratne ortoze

6.1. Geometrija – oblik, dimenzije

Biomehanički principi koje treba poštovati kod konstrukcije vratne ortoze proizlaze iz osnovnog zahtjeva koji ona treba ispuniti, a to je imobilizacija vratne kralježnice i glave. Prema tome, potrebno je oblikovati vratnu ortozu tako da ograniči stupnjeve slobode gibanja vratne kralježnice i glave.

Uz to, treba poštovati i anatomska obilježja. Vrat čovjeka je cilindričnog oblika, ima određen opseg i visinu (udaljenost između brade i ramena), pa vratna ortoza treba biti oblikovana sukladno obliku vrata – također bi trebala biti cilindrična. Treba uzeti u obzir i to da opseg vrata može varirati od 25 do 48 cm kod odraslih ljudi, a visina mu može biti između 5 i 14 cm, tako da se i dimenzije ortoze trebaju kretati u tom rasponu. Također, važan je i oblik donje čeljusti (srčolik ili četvrtast) i položaj ramena (kod nekih ljudi su spuštenija nego kod drugih).

Budući da vratna ortoza leži na ramenima i podupire bradu, važno je da bude oblikovana tako da se, što je moguće više, smanji pritisak na mjestima u kojima je u dodiru s tijelom, da ne bi došlo do prekida krvotoka, nastajanja masnica i sličnog. Općenito, pritisak se smanjuje povećanjem površine (prema zakonu $\sigma = F/A$), pa se tako i u ovom slučaju povećava površina dodira ortoze i tijela. Naravno potrebno je izbjegavati i oštre rubove.

6.2. Izbor materijala

Kod izbora materijala potrebno je imati u vidu slijedeća svojstva koja isti mora imati:

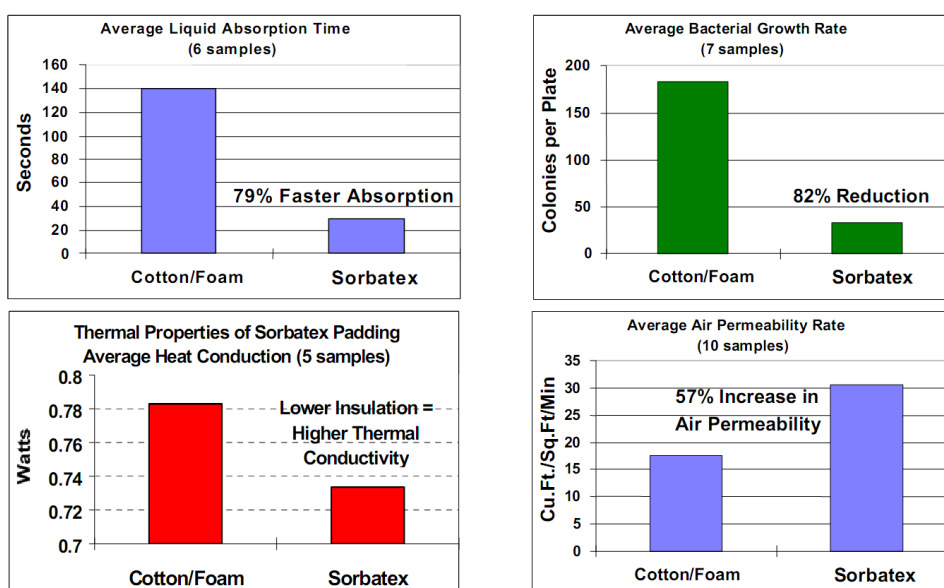
- a) Oblikovljivost (livljivost, mogućnost kalupljenja...)
- b) Krutost (otpornost na savijanje)
- c) Čvrstoća (otpornost na lom)
- d) Mala težina

- e) Elastičnost
- f) Termička svojstva
- g) Prisjetljivost oblika

Osim izbora osnovnog materijala iz kojeg će biti izrađen kostur ortoze, treba izabrati i materijal koji će biti u dodiru s kožom (pritom se misli na presvlake kod ovratnika od pjene i podloge/uloške/jastučice kod plastičnih i metalnih ovratnika). Takav materijal:

- a) ne smije biti abrazivan i iritirati kožu
- b) mora biti antialergenski i antibakterijski
- c) treba biti propustan (iz kože isparava vlaga i izlučuju se štetne tvari, a to se ne bi smjelo zadržavati na površini kože da ne bi došlo do upala ili infekcija) i brzo se sušiti (iz istog razloga)
- d) mora dobro provoditi toplinu (bilo bi veoma neugodno da materijal ne provodi toplinu pa da pacijentu bude prevruće)

Materijali koji su u dodiru s kožom najčešće su vuna, pamuk, a u posljednje vrijeme razvijaju se novi materijali posebno prilagođeni dodiru s kožom. Primjer jednog od takvih jest Sorbatex, koji ima bolja svojstva u odnosu na klasične materijale. [18]



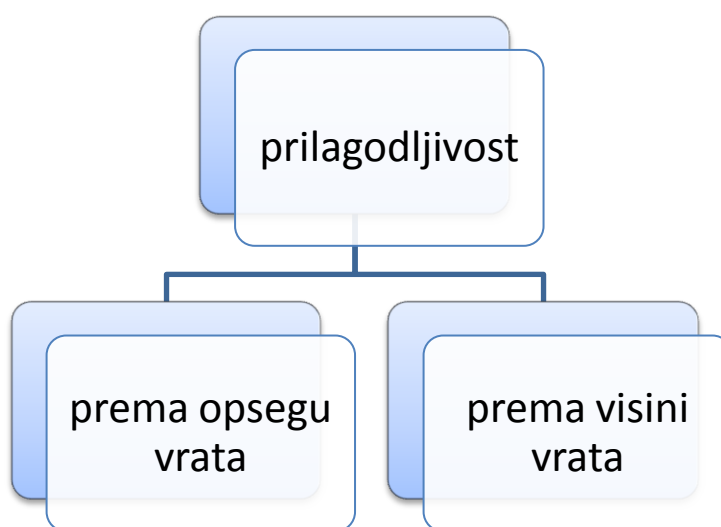
Slika 6.1. Usporedba svojstava Sorbatexa i klasičnih materijala - brzina upijanja tekućine, brzina rasta bakterija, termička svojstva (izmjena topline), propuštanje zraka. [18]

Uz to, poseban zahtjev za materijal je da bude RTG transparentan, tj. da je omogućeno rendgensko snimanje kad pacijent ima ovratnik.

6.3. Prilagodljivost

Postoje različita rješenja prilagođavanja ovratnika. Vratne ortoze mogu biti univerzalne, tj. mogu se podešavati tako da pristaju svakom pacijentu, ili mogu biti izrađene u više veličina pa tada pacijent izabire onu veličinu koja odgovara visini i opsegu njegova vrata. Kao što je već spomenuto, opseg vrata odraslog čovjeka varira od 25 do 48 cm, a visina između 5 i 14 cm, tako da ne može svima odgovarati ista ortoza.

Dakle, ovratnici se općenito mogu prilagođavati prema opsegu vrata i prema visini vrata.



Slika 6.2. Prilagodljivost vratne ortoze.

Ovratnici od pjene najčešće su izrađeni u različitim veličinama i mogu se podesiti prema opsegu čičak trakom kojom se pričvršćuju.

Ovratnici od čvrste plastike izrađuju se i u različitim veličinama, kada se mogu prilagoditi opsegu vrata čičak trakom, i kao univerzalni koji se mogu prilagoditi i prema opsegu vrata, također čičak trakom, i prema visini posebnim mehanizmom.



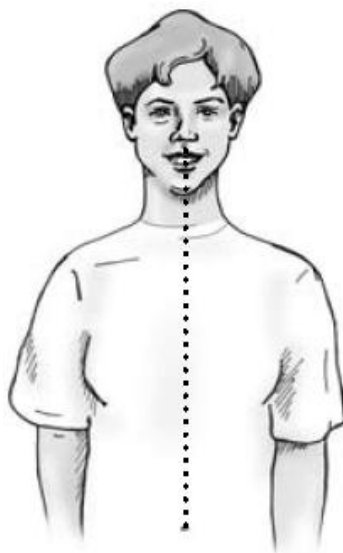
Slika 6.3. Stifneck ovratnik ima mehanizam za prilagođavanje prema visini vrata. [19]

Kod ovratnika koji se sastoje od više dijelova može se podesiti primjerice nagib jednog od dijelova (primjerice prednjeg dijela kako bi se prilagodio oslonac za bradu).

6.4. Postavljanje vratne ortoze

Što se tiče postavljanja vratne ortoze, ortoza može biti jednodijelna kao što su to najčešće ovratnici od pjene (ali i neki od tvrde plastike), a može biti i dvodijelna ili višedijelna, kao što je to slučaj kod većine ovratnika od tvrde plastike.

Ortoza se može postavljati dok je pacijent u ležećem ili uspravnom položaju, ovisno o težini ozljede. Ako se radi o ozbiljnijoj ozljedi, za postavljanje ortoze potrebna je još jedna ili dvije osobe. Osnovno je da vrat treba biti u pravilnom položaju. U oba slučaja (u sjedećem ili ležećem položaju) pacijentove ruke trebaju biti položene uz tijelo, ramena spuštена, a glava centralno poravnata (pogled ravno prema naprijed).



Slika 6.4. Pravilan položaj tijela kod postavljanja ortoze. [17]

Ako je ovratnik izveden u 2 ili više dijelova, ovisno o položaju tijela, postavlja se najprije jedan pa drugi dio (npr. prvo prednji, a zatim stražnji dio ako je tijelo u uspravnom položaju, ili obrnuto ako je tijelo u ležećem položaju).

Kod lakših ozljeda, pacijent može sam staviti ovratnik. Ovratnici od pjene obično su jednostavniji za postavljanje nego ovratnici od čvrste plastike. Kod samostalnog postavljanja polazi se od toga da udubljenje za bradu bude dobro pozicionirano, a zatim se ovratnik prilagodi opsegu vrata čičak trakom.

6.5. Higijena

Kod konstrukcije treba voditi brigu i o tome da čovjeka mora održavati higijenu vrata kako bi se s kože uklonio znoj i prljavština. Kako bi to bilo moguće, potrebno je skinuti ortozu i zato je osim problema postavljanja potrebno riješiti i problem skidanja. Treba obratiti pažnju na to je li moguće da pacijent samostalno skida ovratnik ili je potrebna pomoć druge osobe.

Druga važna stvar nakon skidanja ovratnika je mogućnost održavanja (čišćenja/pranja) materijala koji je u dodiru s kožom. Naime, nakon što se izvrši higijena vrata, nema smisla da se na čisti vrat postavi prljavi ovratnik. Općenito, od materijala koji se postavlja u dodir s kožom najčešće se izrađuju presvlake od

pamuka ili vuna (najčešće kod ovratnika od pjene) ili podloge/ulošci/jastučići (kod ovratnika od tvrde plastike) koji mogu biti od nekih novih posebnih materijala visoko prilagođenih dodiru s kožom. Na konstruktoru je da odluči hoće li se te presvlake i podloge moći zamijeniti i održavati, te na koji način.

6.6. Složenost upotrebe

Ono na što kod konstrukcije također treba paziti je stupanj složenosti upotrebe, odnosno postavljanja, uklanjanja, održavanja. Ovisno o tome koliko je složena konstrukcija, ovisi i to koliko predznanja i iskustva korisnik treba imati za ispravno korištenje. Najčešće ovratnici nisu veoma složeni za upotrebu, ali je potrebno prethodno pozorno proučiti uputstva za korištenje koja dolaze uz ovratnik. Isto, ako ovratnik postavlja medicinsko osoblje uzima se u obzir je li potrebna posebna edukacija.

6.7. Grafički prikaz konstrukcijskih značajki

Geometrija - oblik, dimenzije

- ograničavanje stupnjeva slobode vratne kralježnice
- anatomski obilježja - cilindričan oblik
- redukcija pritiska na mjestima dodira s kožom

Izbor materijala

- materijal kostura ovratnika
- materijal u dodiru s kožom

Prilagodljivost

- prema opsegu vrata
- prema visini vrata

Postavljanje

- samostalno ili uz pomoć
- ovratnik - jednodijelan ili višedijelan

Higijena

- presvlake ili podloge/ulošci/jastučići
- materijal - vuna, pamuk, posebni materijali

Složenost upotrebe

- potrebna predznanja i iskustvo

7. Zaključak

Cilj ovog rada bio je utvrditi konstrukcijske značajke vratne ortoze. Nakon što je objašnjen mehanizam trzajne ozljede vratne kralježnice, odnosno biomehanika ozljede, izlučeni su zahtjevi koje ovratnik treba ispuniti. Na temelju ovih zahtjeva, izvode se smjernice za konstruiranje.

Najprije, ovratnik treba udovoljiti osnovnom zahtjevu, tj. treba imobilizirati vratnu kralježnicu i glavu kako bi se oštećena tkiva (kralješci, mišići, ligamenti, međukralješnički diskovi) mogla oporaviti, te je potrebno tome prilagoditi geometriju, odnosno oblik i dimenzije. Oblikom ovratnik treba odgovarati vratu, tj. biti cilindrične forme, te treba paziti da se na mjestima dodira s kožom reducira pritisak. Zatim je potrebno odabrati materijal iz kojeg će ovratnik biti izrađen, te materijal koji će biti u dodiru s kožom. Slijedi rješavanje problema prilagodljivosti, hoće li se ovratnik moći prilagoditi samo prema opsegu vrata ili i prema visini vrata, te na koji način. Treba odlučiti hoće li biti jednodijelan ili višedijelan, na koji način će se postavljati i tko će ga moći postaviti, korisnik samostalno ili uz pomoć, te koliko je složena njegova upotreba, je li potrebno iskustvo i predznanje za korištenje. Na kraju, tu je i pitanje higijene, kako skinuti ovratnik kako bi se mogao oprati vrat i sam ovratnik, te na koji način je moguće održavati ovratnik čistim.

Sve su to smjernice koje inženjer treba uzeti u razmatranje prilikom konstrukcije vratne ortoze. Naravno, za svaku od tih značajki postoji široka lepeza mogućnosti razvoja koje je nemoguće posve obuhvatiti, ali ovaj rad nudi osnovna načela po kojima bi se vratna ortoza trebala konstruirati.

8. Literatura

1. <http://www.vasezdravlje.com/izdanje/clanak/828/>, 20.01.2010.
2. Malanga, G., Nadler, S.F.: *Whiplash*, Hanley & Belfus, Philadelphia, 2002.
3. http://www.whatagreatsmile.com/images/Whiplash_drawing.jpg, 05.02.2010.
4. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e1/Human_anatomy_planes.svg, 05.02.2010.
5. <http://www.hughston.com/hha/spine.jpg>, 05.02.2010.
6. <http://www.richmonddrx.com/Images/atlasaxis3.jpg>, 05.02.2010.
7. <http://www.asbweb.org/conferences/1990s/1997/PANJABI/figure2.gif>, 07.01.2010.
8. <http://www.bakkechiropractic.com/images/whiplash.jpg>, 05.02.2010.
9. http://en.wikipedia.org/wiki/Cervical_collar, 07.01.2010.
10. http://www.ehow.com/how-does_5001604_how-cervical-collar-works.html, 19.01.2010.
11. <http://www.harrietcarter.com/resources/harrietCarter/images/products/processed/8057.zoom.a.jpg>, 19.01.2010.
12. <http://www.chiroeco.tensnet.net/images/cervicalCollarFaceWeb.jpg>, 19.01.2010.
13. http://www.abledata.com/product_images/images/07A0580.jpg, 19.01.2010.
14. <http://www.cardinal.com/us/en/distributedproducts/images/7/79-83201.jpg>, 19.01.2010.
15. <https://www.shopossur.com/images/products/TrachPhilCollar.jpg>, 19.01.2010.
16. http://www.backpain-guide.com/Chapter_Fig_folders/Ch12_PreOp_Folder/Ch12_Images/12-2%20Aspen%20Collar.jpg, 19.01.2010.
17. <http://www.ossur.com/lisalib/getfile.aspx?itemid=17805>, 15.01.2010.
18. <http://www.ossur.com/lisalib/getfile.aspx?itemid=17494>, 15.01.2010.
19. http://www.medshop.com.au/images/D/stifneck_select.jpg, 19.01.2010.